

地震時土圧と擁壁の運動に関する研究

鳥取大学（正）岡田 順三，鳥取大学（正）粕谷 広史
鳥取大学（正）花房 卓司，鳥取大学（正）榎 明潔

1. はじめに

現在、地震時に擁壁に作用する土圧式としては、物部・岡部式が一般的である。しかし、物部・岡部式は楔土塊、基盤の加速度が同じであるため、擁壁と楔土塊が破壊し地盤に対して相対運動を始めると土圧が一致なくなることが知られている¹⁾。本研究では「加速度の連続条件」と慣性力を用いることにより擁壁の運動を考慮した地震時土圧式を提案し、提案式の妥当性を振動台を用いた模型実験により検討した。なお、本研究では地盤・擁壁を剛塑性近似して問題を解いているため、極端に壁高の高い擁壁や、地盤に間隙水圧が発生するような場合については考えていない。

2. 解析方法

本研究では図1に示すような剛塑性体モデル（主動破壊時）を考え、地盤の加速度を既知数、擁壁、楔土塊の加速度を未知数として与えている。ここで加速度に質量を乗じて慣性力とし逆向きに作用させ、「力の釣り合い式」、「破壊条件式」、各破壊面に垂直な方向の加速度成分は連続であるという「加速度連続条件式」、そして、「各破壊面に平行な方向にはせん断力のみが伝達される」という条件を用いて問題を静定化し解を得る。表-1に未知数の数と式数を示す。土圧の最小化はクーロンの土圧と同じであり、各釣り合い式から擁壁・楔土塊の加速度を得ることができる。本研究では問題を力の釣り合い式で解いているため、地盤にどのような加速度が入力されても解を得る結果になってしまう。そこで楔土塊が地盤と一体運動をしている状態から、主動破壊状態になる条件を相対速度で定め、楔土塊が主動方向に相対速度を生じている状態を主動破壊領域とし、それ以外の領域を一体運動領域とした。一体運動領域の土圧に関してだが、地盤の圧縮性を考慮すれば物部・岡部式で与えられる土圧が生じると考えられる。また加速度を時間毎に与えると逐次計算を行い擁壁・楔土塊の加速度を求め、時間で積分することにより擁壁、楔土塊の変位量を解析することができる。

3. 実験装置

実験装置図を図2に示す。擁壁は重力式とし、その高さは15 cmである。擁壁背面地盤に2 mmふるい通過の気乾状態の鳥取砂丘砂を用い、5層に分けて振動台による振動で相対密度約84%の密な地盤を作製した。土槽の側面をアクリル板にし、各層上面の側面側に粒径の異なる色砂を敷き地盤内のすべり面を観察できるようにした。各加速度計は振動台、擁壁、地盤、楔土塊に設置し、レーザー変位計により擁壁の水平相対変位を計測した。本研究で用いた擁壁の特徴は受圧板を三分割し、土圧を中央の受圧板のみで計測し土槽側面の摩擦の影響を少なくしている点である。擁壁と土槽底面にはサンドペーパーを貼り、また、土槽側面と擁壁背面にはテフロンシートを貼り、摩擦の影響を少なくしてある。振動台では理論上、水平加速度のみが擬似sin波で与えられるが、振動に伴うノイズとして水平、鉛直方向の加速度も計測される。そこで実験結果の整理はノイズを除去するため、加速度データに60 HzのLPFを用いている。実験条件を表-2に示す。

キーワード 地震 土圧 擁壁

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101番地 鳥取大学土木工学科

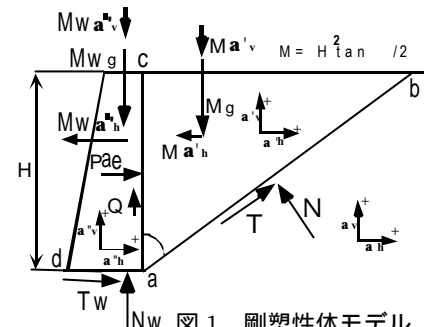


図1 剛塑性体モデル
表-1

未知数	未知数の数	式	式の数
楔土塊底面	垂直力	擁壁の力のつりあい式 水平方向	1個
	せん断力		
擁壁側面	垂直力	楔土塊の力のつりあい式 水平方向	1個
	せん断力		
擁壁底面	垂直力	破壊条件式 加速度の連続条件式	3個
	せん断力		3個
	式数の合計		10個
加速度			
水平加速度	2個		
鉛直加速度	2個		
未知数の合計	10個		

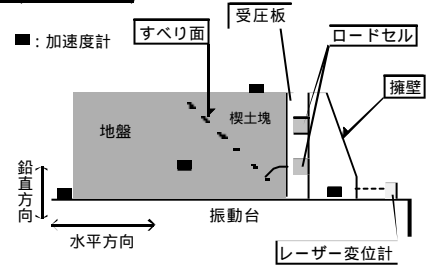


図2 装置の概略図

表-2

楔土塊の質量	M (kg)	3.4
擁壁の質量	M _w (kg)	3.6
擁壁底面摩擦角	(°)	31
楔土塊底面摩擦角		31
擁壁背面摩擦角	(°)	7
周波数	f (Hz)	4
加速度振幅	A	3.2

5. 実験結果および考察

実験及び解析結果を図3に示めす。波形は振動開始第1波である。まず、全体的な現象においては、加速度、土圧ともに解析値は実験値を反映しており、提案式は概ね妥当であると考えられる。次に、部分的な現象については、まず主動破壊条件を満たす時の加速度の解析値は $1.16 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 、実験値は $1.62 \text{ (m/s}^2\text{)}$ である。実験値が解析値より大きくなったのは土槽側面の摩擦の影響と内部摩擦角の評価が正しくないことが考えられる。この時の地震時主動土圧は破壊直後までは楔土塊が剛塑性体として挙動すると考えられ、解析値とほぼ一致する。しかし、破壊が進むにつれて解析値と実験値は合わなくなり、土圧は円で囲まれた部分で示すように減少する。これも側面摩擦、内部摩擦角の影響と考えられる。また、擁壁と楔土塊の水平加速度が連続していない原因としては、楔土塊が弾性的な挙動をした、あるいは加速度計が傾き、重力加速度を測定したことが挙げられる。最後に、本解析では、すべり面の角度は時刻毎に変化するものとしているが、現実には、すべり面が一度破壊した面上で保存されることが実験からも確認されている。実験結果から得られるこの現象の確認方法は江本ら²⁾の論文で報告しており、解析に及ぼす影響に関しては別論文³⁾で紹介している。

6. 大変形問題

地震波は通常1波でなく何波にもわたる。各波で破壊が起これば背面地盤の幾何形状は当然大きく変化する。本研究では背面地盤高の減少に着目し、土圧と擁壁がすべり出す時の加速度の変化を見た。実験では最初の背面地盤高は15 cmで最終的に10 cmとなった。図4に水平加速度と土圧の関係を示す。(黒線 H=15 cm, 灰色 H=10 cm) 地震時主動土圧は地震波が2, 6, 10波と進むにつれて減少するが、最初の地盤高と最後の地盤高における提案式による解析値の間に入っていることがわかる。また、図5に示すように主動破壊条件を満たす時の加速度(すべり出し加速度)は地震波によって破壊が進み地盤高が減少するに従って大きくなる傾向にあることを確認できる。

7. まとめ

本研究から擁壁の運動を考慮した地震時土圧式を導き、地震時の擁壁の運動を表現することができた。また、実験において、大まかな傾向は提案式と一致したが部分的に見ると、砂の弾性挙動や内部摩擦角の評価、土槽の側面摩擦の影響が大きいといえる。大変形問題に関して、破壊の進行に伴う土圧とすべり出し加速度の減少は、砂地盤の高さの減少による影響が大きいことが分かった。

参考文献 1)古関潤一ら：地震時土圧に関する物部岡部式の妥当性の検討,土木学会第55回年次学術講演会, -A, pp.280-281, 2000.3 2)江本宏明ら：地震時に塑性体内に生じるすべり面と加速度の連続条件, 第38回地盤工学研究会発表会講演集(投稿中). 3)岡田順三ら：地震時土圧と擁壁の運動に関する研究, 第38回地盤工学研究会発表会講演集(投稿中)

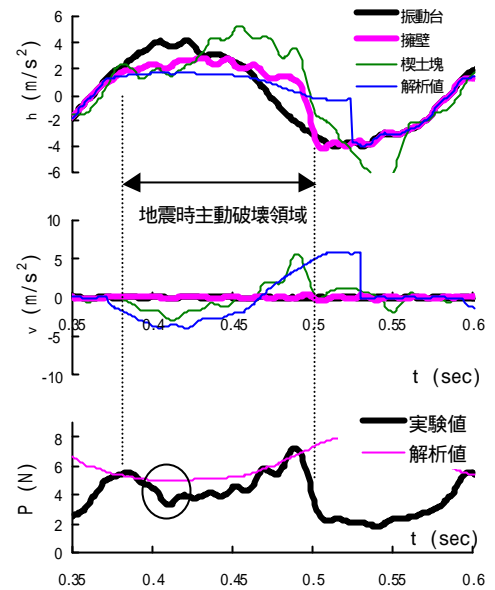


図3 実験・解析値の比較

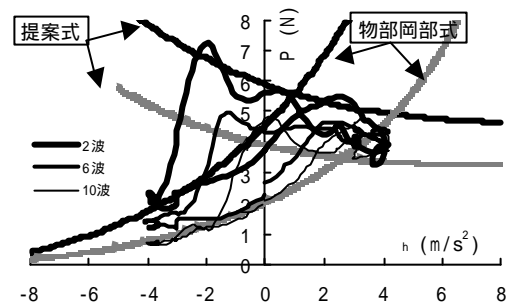


図4 h - P 関係

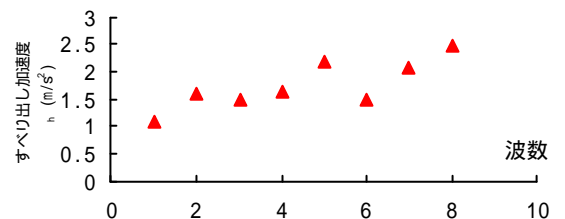


図5 すべり出し加速度